

1978. – 387 с. 10. Матеріали компанії Verenium [Електронний ресурс]: Purifine[®] PLC: Improving the Degumming of Edible Vegetable Oil. Режим доступу: http://www.verenium.com/prod_purifine.html. 11. Hitchman T. Purifine[®] PLC: Industrial application in oil degumming and refining / T. Hitchman // Oil Mill Gazetteer. 2009. – Vol. 115. P. 2 – 4. 12. Матеріали компанії Diversa [Електронний ресурс]: Corporation GRAS Notification Concerning BD16449 Phospholipase C Enzyme Preparation From *Pichia pastoris*. Режим доступу: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:j6XKUreVbbsJ:www.accessdata.fda.gov/scripts/cen/gras_notices/grn000204.pdf+PLC+BD+16449&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ua&client=firefox. 13. Verenium and Alfa Laval announce collaboration on Purifine PLC Enzyme // Chemical Business Newsbase. – 2009. – march 24. – P. 15. 14. Матеріали компанії Verenium [Електронний ресурс]: World's Largest Soybean Processing Plant Converts to Usage of Verenium's Purifine[®] PLC Enzymatic Degumming Process. Режим доступу: <http://ir.verenium.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=448847>. 15. Пат. США № 0069587 A1. Enzymatic degumming utilizing a mixture of PLA and PLC phospholipases with reduced reaction time / Dayton C., E.M. Rosswurm, F. de S. Galhardo; 11.09.2007; publ. 12.03.2009. 16. Дятловицкая Э. В. Количественное определения фосфохолина и активности фосфолипазы С / [Э. В. Дятловицкая. В.И. Волкова, М.В. Исполатовская, Л.Д. Бергельсон] //Химия природных соединений. – 1966. – №. 3. – с. 233 – 235.

Поступила в редколлегию 30.08.2011

УДК 661.321

В.Ф.РАЙКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков
М.А.ЦЕЙТЛИН, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков
В.А.ПАНАСЕНКО, докт. техн. наук, проф., НИОХИМ, Харьков

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ПРИ ГАЗОЖИДКОСТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НА КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С КОНУСНЫМИ ТЕЛАМИ

Приведены результаты исследования интенсивности теплопередачи на контактных элементах каскадного типа состоящих из конической воронки и расположенного над ней конического тела. Для системы раствор поваренной соли – воздух получены уравнения зависимости коэффициента передачи энтальпии от скорости газа в полном сечении тарелки, плотности орошения и температуры жидкости

Наведено результати дослідження інтенсивності теплопередачі на контактних елементах каскадного типу складаються з конічною воронки і розташованого над нею конічного тіла. Для системи розчин кухонної солі - повітря отримані рівняння залежності коефіцієнта передачі ентальпії від швидкості газу в повному перерізі тарілки, щільності зрошення і температури рідини

The results of investigation of heat transfer intensity on the contact elements of the cascade-type consisting of a conical funnel, and located above the conical body. For a system of salt solution - air equations are obtained dependence of the enthalpy of transfer from the gas velocity in the entire cross-section plates, the density of irrigation fluid temperature

1. Введение

Одним из направлений утилизации теплоты сбросных топочных газов является концентрирование технологических жидкостей, которое из-за относительно низкой температуры этих газов должно осуществляться при прямом контакте взаимодействующих сред. Если оборудование для упаривания светлых жидкостей хорошо разработано и изучено (см., например, [1]), то подбор

конструкции аппарата для концентрирования суспензий, образующих плотные отложения на контактных элементах, продолжает быть непростой задачей.

В содовом производстве в аппаратах для обработки газами суспензий используются провальные тарелки с крупными (до 120 мм) отверстиями (далее для краткости ПТКП). При таком большом диаметре уменьшение размера перфораций вследствие образования инкрустаций незначительно снижает свободное пространство для прохода газа, что и обеспечивает достаточно длительную работу без очистки. Однако тепло-массообменные характеристики ПТКП оставляют желать лучшего. В работе [2] показано, что это обусловлено неустойчивостью пенных слоев на тарелках и неравномерностью распределения жидкости по поперечному сечению аппарата.

Следует ожидать, что хорошей альтернативой ПТКП может стать контактный элемент каскадного типа, представляющие собой систему из конической воронки и расположенного над ней тела, образованного из двух конусов, соединенных основаниями [3] (далее для краткости будем называть эту деталь конусным телом, а контактный элемент с этой деталью – КЭКТ). Стоит, однако, отметить, что эта конструкция, не технологична в изготовлении и обслуживании, так как конусное тело сложно жестко установить, а полость, внутри него забивается отложениями, которые невозможно чистить. Можно пожертвовав обтекаемостью упростить описанную выше конструкцию за счет удаления одного (нижнего) из двух конусов, образующих конусное тело. Далее такой упрощенный контактный элемент будем называть контактным элементом с одиночным конусом (КЭОК).

Работа, результаты которой изложены в настоящей статье, была выполнена с целью определить теплообменные характеристики контактных элементов с конусными телами.

2. Теоретическая часть

В процессе теплообмена жидкости и газа в прямом контакте принято различать так называемый «сухой» и «мокрый» теплообмен. Первый – результат переноса теплоты вследствие разности температур жидкости и газа, второй – обусловлен тепловым эффектом испарения или конденсации воды и, по существу, является следствием процесса массопередачи, движущая сила которого разность парциальных давлений пара в газе и пара, равновесного с жидкостью. Совместное протекание двух разнородных физических процессов делает расчет контактного теплообмена, который чаще всего базируется на совместном решении уравнений тепло и массопередачи, весьма сложной процедурой.

Анализе процессов контактного теплообмена может быть существенно облегчен, если в качестве движущей силы выбрать разность между фактической энтальпией газа и его энтальпией при равновесии с жидкостью, как это используется для расчета градиентов [4], и, за редким исключением [5], не используется исследователями контактного теплообмена. В этом случае поток энтальпии между воздухом и водой (или раствором) может быть рассчитан по следующему уравнению:

$$G \frac{dH_r}{dS} = k_H (H^* - H_r), \quad (1)$$

где G – массовый расход газа, кг/с; S – площадь поверхности раздела фаз, м²; k_H – коэффициент передачи энтальпии, кг/м²с; H_r – энтальпия влажного газа, кДж/кг; H^* – энтальпия газа, равновесного с основной массой раствора, кДж/кг.

Ниже описано исследование зависимости коэффициента передачи энтальпии от факторов процесса. Полученные результаты сопоставлялись с аналогичными данными для ПТКП, заимствованными из работы [6]. Следует отметить, что контактные элементы с конусными телами рассматривались нами, как блок из двух условных тарелок (конусный элемент и воронка), и приведенные ниже кинетические коэффициенты характеризуют каждую из них в отдельности, а не блок в целом. Таким образом, приведенное выше сопоставление КЭОК, КЭКТ и ПТКП является корректным, так как сравнивались показатели одной из пары тарелок, образующих контактные элементы с конусными телами и одна тарелка ПТКП.

3. Экспериментальная часть.

Исследование выполнялось на установке, которая состояла из собственно экспериментального колонного аппарата, в который устанавливали 3 экспериментальные тарелки, комплекта вспомогательного оборудования, обеспечивающего его работу и приборов для измерения расходов газа и воды, а также перепадов давлений.

На рис. 1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.** представлены эскизы контактных элементов, подвергавшиеся исследованию. Соответственные размеры КЭКТ и КЭОК были одинаковыми, поэтому показаны только для одного из них. Габариты контактных элементов выбраны таким образом, чтобы доля свободного сечения (отношение площади сечения для прохода газа к площади поперечного сечения аппарата) не была меньше 40 %.

Исследовалась зависимость коэффициента передачи энтальпии (k_H) от скорости газа (w), плотности орошения (I), температуры жидкости (t) Исследование проводилось в интервале скоростей газа, отнесенных к полному сечению опытного аппарата, от 0,2 до 5 м/с. В опытах ее изменяли в интервале от $0,2 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ м³/м²·с. Значения температуры исходной жидкости меняли в интервале от 60 до 90 °С. Полученные значения коэффициентов относили к среднеарифметическому значению температур жидкости на верхней тарелке и на выходе из установки. Опыты выполняли с 15 % раствором поваренной соли, а расчет массы выпаренной воды выполняли по изменению концентрации [Cl] в процессе упаривания.

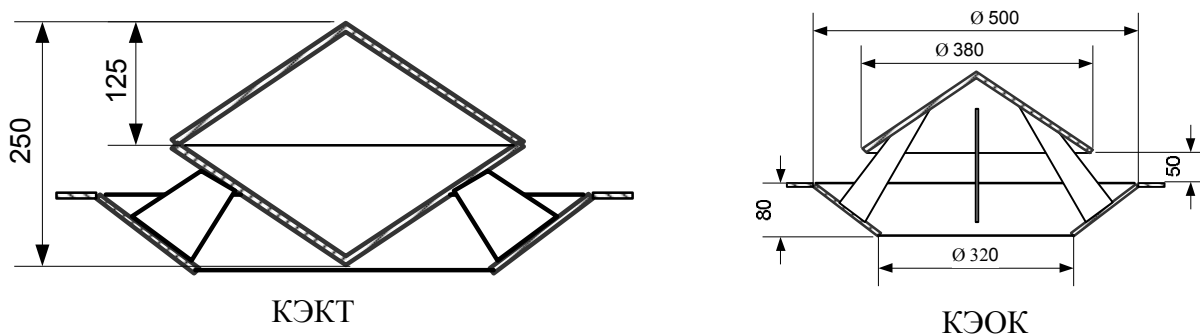


Рис. 1. Исследованные контактные элементы

Вначале исследовалась зависимость k_H от температуры. Дело в том, что средняя температура жидкости (именно к ней относятся рассчитанные по результатам опыта значения k_H) в опытном аппарате зависит не только от ее температуры на входе в установку, но и от конкретных значений скорости газа и плотности орошения. Поэтому для того, чтобы выделить влияние только w и l необходимо исключить влияние температуры.

Для КЭОК влияние температуры на коэффициенты передачи энthalпии представлено на рис. 2. Как видно из рисунка, несмотря на значительный

диапазон изменения температуры исходной жидкости (40 °С), средняя температура жидкости на тарелках менялась в относительно узком интервале, который зависел, главным образом, от плотности орошения.

Можно видеть некоторую тенденцию к снижению величин коэффициентов с ростом температуры, однако эта тенденция достаточно слабая и не для всех пар значений скорости газа и плотности орошения явно выражена. Во всяком случае, в исследованном температурном диапазоне влияние температуры на k_H существенно меньше, чем скорости газа и плотности орошения. Поэтому при анализе зависимостей коэффициентов передачи энthalпии и массопередачи от l и w влиянием температуры пренебрегали. В то же время, как будет показано ниже, при статистической обработке результатов опытов фактор температуры оказался значимым и был учтен в полученных уравнениях.

Поскольку гидродинамика газожидкостной системы на КЭОК и КЭКТ весьма близка, нет оснований полагать, что влияние температуры на k_H для КЭКТ окажется иным, чем для КЭОК.

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента передачи энthalпии от скорости газа для КЭОК (1), КЭКТ (2) и ПТКП (3) (данные для ПТКП заимствованы из работы [6]) при плотности орошения $1 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ и температуре исходного раствора 70 °С.

Как видно из графиков в диапазоне скоростей газа 0,2-1,7 м/с

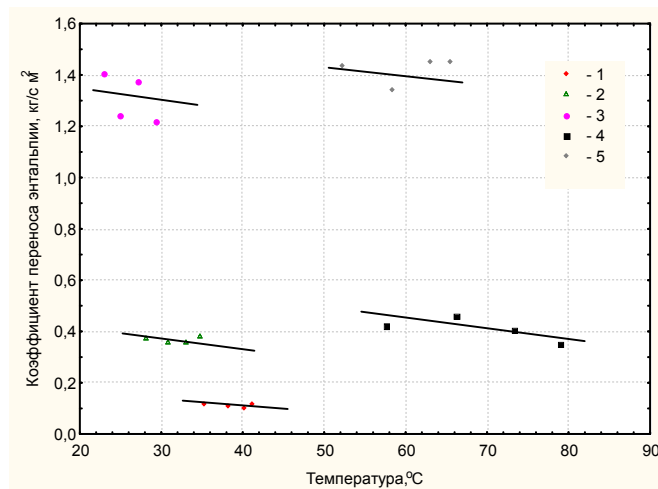


Рис. 2. Зависимости коэффициента передачи энthalпии от температуры для КЭОК при w (м/с) и l (дм³/м²·с), соответственно: 1 – 0,2 и 0,2; 2 – 0,8 и 0,2; 3 – 3,5 и 0,2; 4 – 0,2 и 5; 5 – 0,8 и 5.

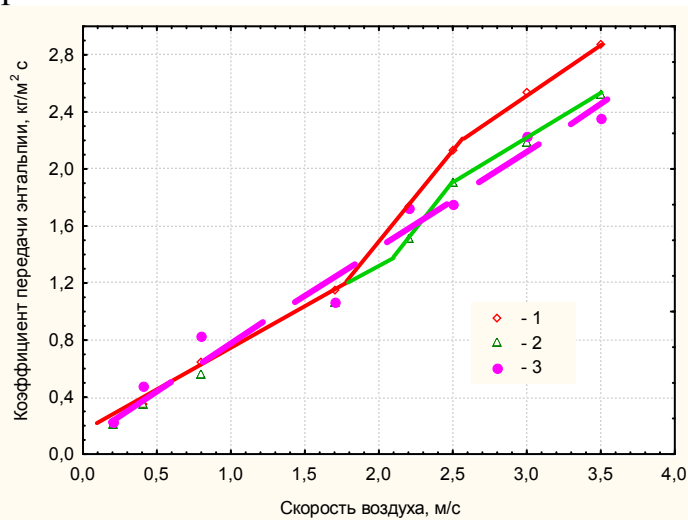


Рис. 3. Зависимость коэффициента передачи энthalпии от скорости газа для контактных элементов исследованных конструкций

в отсутствие накопления жидкости на тарелках) коэффициенты передачи энтальпии для всех исследованных контактных элементов практически совпадают. Следует отметить несколько более высокие значения k_H в этом диапазоне скоростей воздуха для ПТКП. Это может быть объяснено большим периметром отверстий для прохода газа в сравнении с КЭОК и КЭКТ (на ПТКП таких отверстий несколько (рис. 2.2), а на КЭОК и КЭКТ – одно), а, следовательно, и большей областью интенсивного взаимодействия потоков воздуха и газа

С увеличением скорости газа в интервале 2-2,5 м/с в процессе накопления жидкости на КЭОК и КЭКТ, вызванного уносом жидкости и образованием слоев из брызг и струй, наклон графиков изменения k_H с ростом скорости воздуха заметно увеличивается. Это легко объяснить интенсификацией дробления капель в сужениях контактных элементов (в горловине воронки и по краю конуса) и последующей их сепарацией, то есть интенсификацией обновления поверхности взаимодействия фаз. Что касается ПТКП, то вследствие плохой воспроизводимости результатов опытов, характерной для этих тарелок, каких-либо изменений скорости нарастания коэффициента передачи энтальпии в интервале скоростей воздуха 2-2,5 м/с идентифицировано не было. Увеличение скорости воздуха выше 2,5 м/с приводит к замедлению роста величины коэффициента передачи энтальпии. В этой области наклон графика зависимости k_H от w такой же, как и в интервале 0,2-1,7 м/с.

Характеризуя взаимное положение графиков зависимостей k_H от w можно отметить, что, как уже указывалось, в интервале 0,7-1,2 м/с различия между исследованными контактными элементами лежат в пределах точности опытов. При дальнейшем же увеличении скорости воздуха КЭОК и КЭКТ показывают более высокие значения коэффициента передачи энтальпии, чем ПТКП, причем, если между КЭКТ и ПТКП различие весьма незначительное, то в интервале скоростей воздуха 2,5-3 м/с k_H для КЭОК превышает это величину для ПТКП более, чем на 20 %. Таким образом, из трех рассмотренных контактных элементов наилучшие показатели по коэффициенту передачи энтальпии оказались у КЭОК.

Следует отметить, что, хотя в отличие от ПТКП зависимости k_H от w для КЭОК и КЭКТ явно отражают влияние смены гидродинамических режимов, однако влияние это не столь существенно и при математической обработке зависимостей k_H от w им можно пренебречь. Такой подход позволит не только упростить математическую обработку саму по себе, но и математическую модель процесса, так как исключит необходимость выбора расчетного уравнения на каждом цикле расчета.

На рис. рис. 4 представлены зависимости коэффициента передачи энтальпии от скорости газа для КЭОК и КЭКТ.

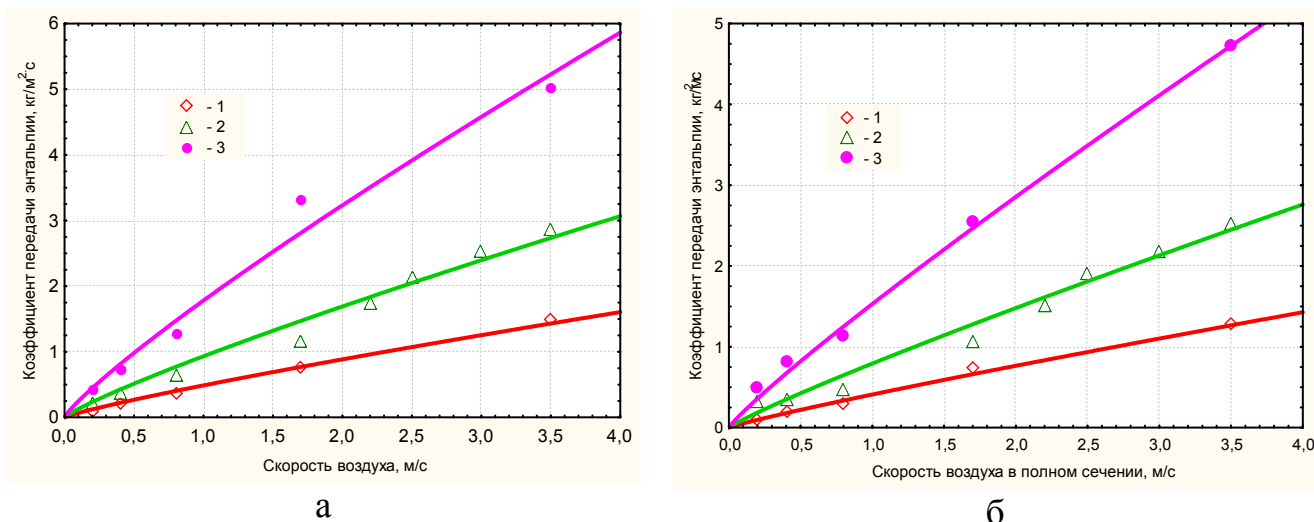


Рис. 4. Зависимость коэффициента передачи энтальпии от скорости воздуха для КЭОК (а) и КЭКТ (б) при плотностях орошения ($\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$): 1 - 0,2; 2 - 1; 3 - 5.

Линии на графике рис. 4 (а) построены по уравнению

$$k_H = 0,931 w^{0,86} l^{0,402}, \quad (2)$$

а на рис. 4 (б) по уравнению

$$k_H = 0,793 w^{0,90} l^{0,41}. \quad (3)$$

Графики на рис. 4 иллюстрируют удовлетворительное совпадение экспериментальных точек с расчетом по этим уравнениям, правда, без детализации области смены гидродинамических режимов (1,7-2,5 м/с). Однако и при таком упрощении коэффициент корреляции между опытом и расчетом превышает 0,98, что можно считать очень хорошим результатом..

Анализируя уравнения (2) и (3) можно заметить, что, во-первых, показатели степени при скорости воздуха в полном сечении аппарата и плотности орошения для КЭОК и КЭКТ имеют весьма близкие значения, что вполне можно было ожидать, учитывая близость конструкций этих контактных элементов и, во-вторых, коэффициент передачи энтальпии для КЭОК существенно выше, чем для КЭКТ (коэффициенте пропорциональности в уравнении (2) на 17 % больше, чем в уравнении (3)).

Графики, приведенные на рис. 5 построены по уравнениям (2) и (3) и могут рассматриваться как номограмма для оценки значений k_H при заданных w и l .

Следует отметить, что рис. 5 наглядно иллюстрирует, что при малых скоростях воздуха, вплоть до 0,5 м/с, плотность орошения оказывает весьма незначительное влияния на интенсивность передачи энтальпии (линии графиков на рис. 5 почти вертикальны в практически применимом диапазоне величин l). Однако с ростом скорости газа влияние плотности орошения усиливается и при скорости 3,0-3,5 м/с степень влияния w и l на k_H становится примерно одинаковой.

Сравнивая полученные результаты с данными по зависимости коэффициента передачи энтальпии от w и l для ПТКП, полученными в работе [6] в виде уравнения $k_H = 0,678 w^{0,89} l^{0,69}$, можно заметить, что влияние скорости газа на k_H имеет тот же порядок, что и в уравнениях (2) и (3). В то же время влияние плотности орошения на k_H у ПТКП существенно большее, чем в наших опытах.

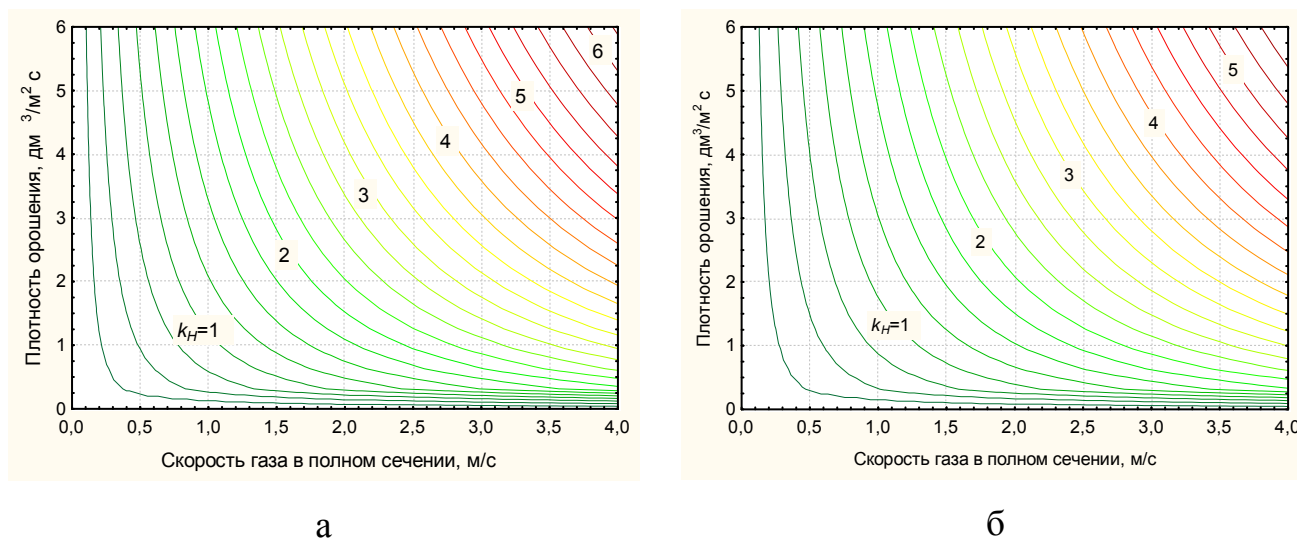


Рис. 5 Зависимость коэффициента передачи энтальпии на КЭОК (а) и на КЭКТ (б) от скорости воздуха в полном сечении аппарата и плотности орошения.

Это можно объяснить тем, что благодаря наличию зон сепарации в КЭОК и КЭКТ возникает внутренняя циркуляция жидкости, обеспечивающая большее, чем на ПТКП накопление жидкости. Это обстоятельство нивелирует в КЭОК и КЭКТ влияние плотности орошения на k_H .

В уравнениях (2) и (3) не учитывалось влияние температуры на коэффициент передачи энтальпии. В то же время это влияние, как можно видеть из графика на рис. 2 заметно и, значит, может быть учтено в расчетных уравнениях. Теоретическая форма уравнения, описывающая связь температуры и k_H весьма громоздка [6]. Поэтому нами были подобраны относительно простые эмпирические уравнения, аппроксимирующие эту зависимость. Из нескольких вариантов таких уравнений выбиралось то, которому соответствовал максимум объясненной доли вариации k_H . В результате были получены следующие уравнения:

$$\text{для КЭОК } k_H = 10,2w^{0,803}t^{0,541}/t^{0,685} \quad (4)$$

$$\text{для ЭЭКТ } k_H = (1 - 0,0047t)w^{0,825}t^{0,441} \quad (5)$$

Точность уравнений (4) и (5) характеризует доля объясненной вариации – 97,2 и 98,5 %, соответственно и стандартная ошибка расчета k_m – 12 и 10 %, соответственно. Важно, что p -уровни для коэффициентов при температуре меньше 0,05, что подтверждает значимость влияния температуры.

В заключение, сравним полученные нами для КЭКТ и КЭОК данные о зависимости k_H от температуры с аналогичными данными по ПТКП, приведенными в [6]. Можно заметить, что влияние температуры на k_H у ПТКП существенно большее. Объяснение этому следует искать в уже упоминавшейся внутренней циркуляции жидкости, имеющих место в КЭОК и КЭКТ и отсутствующие в ПТКП. Эта циркуляция интенсифицируют перемешивание жидкости и, как следствие, снижают термическое сопротивление жидкостной пленки. По нашему мнению, снижение термического сопротивления жидкостной пленки объясняет также найденное нами увеличение значений k_H у КЭОК и КЭКТ в сравнении с ПТКП.

4. Выводы

Оценка степени влияния температуры исходной жидкости на кинетику передачи энтальпии на контактных элементах с конусными вставками показала, что температура оказывает незначительное, хотя и заметное влияние на скорость теплопередачи.

Определяющее влияние на коэффициент передачи энтальпии оказывают гидродинамические факторы, причем скорость воздуха в большей степени, чем плотность орошения. Расчетные зависимости полученные для вычисления этого коэффициента в зависимости от скорости газа, плотности орошения и температуры предназначены для использования при проектировании аппарата для упаривания суспензий с использованием отходящих топочных газов.

Список литературы: 1. *Егоров Н.Н.* Охлаждение газа в скрубберах.–М.: Росхимиздат, 1954–142 с. 2. *Райко В.Ф.* Гидродинамические характеристики провальных тарелок с крупной перфорацией и большим свободным сечением / В.Ф. Райко, М.А. Цейтлин, П.Х. Эстефани // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2007.– № 30.– С. 78- 82. 3. Патент 1806544 ФРГ. Кл. 12 а 5 (В 01 d 3/30). Тарелка для тепло- и массообменных аппаратов./ Н.Р. Streuber. Заявл. 02.11.68, опубл. 08.03.73. 4. *Шервуд Т.* Массопередача./ Т. Шервуд, Р. Пигфорд, Ч. Уилки – М.: Химия, 1982. – 696 с. 5. Применение контактных экономайзеров для подогрева технологических жидкостей. / В.Ф.Моисеев, В.А. Рудаков, М.А. Цейтлин и др. // Мало- и безотходные технологии в энергетике, как средство защиты окружающей среды и повышения топливоиспользовани: сб. научн. тр.– М.: ЭНИН, 1985.– С. 145-149. 6. *Эстефани П.Х.* Исследование тепло и массообмена при водоиспарительном концентрировании рассола / В.Ф. Райко, П.Х. Эстефани, М.А. Цейтлин // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: Технологічний центр. – 2007. – № 5/4(29). – С. 40-44.

Поступила в редколлегию 29.08.2011

УДК 658.382.3

В.В.БЕРЕЗУЦКИЙ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков
РАДВАН АРАФА БИССИУНИ, преп.-стажер, НТУ «ХПИ», Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВРЕМЕННОГО СМЕЩЕНИЯ СОБЫТИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В статье рассмотрена новая методика оценки профессиональных заболеваний работников предприятий, которая основана на методе временного смещения событий при анализе профессиональных заболеваний. Метод апробирован на анализе профессиональных заболеваний одного из трубопрокатных производств Египта.

У статті розглянута нова методика оцінки професійних захворювань працівників підприємств, яка заснована на методі часового зміщення подій при аналізі професійних захворювань. Метод апробований на аналізі професійних захворювань одного з трубопрокатних виробництв Єгипту.

The article discusses a new method for evaluation of workers' occupational diseases in factories, based on the method of time shift of events upon analysis of occupational diseases. The method was tested upon analysis of occupational diseases, of an Egyptian tube-rolling factory.